SNI 8367:2017

Standar Nasional Indonesia

Spesifikasi perancangan rangka pemikul momen khusus beton pracetak pascatarik tanpa lekatan

ICS 91.100.30

Badan Standardisasi Nasional

Daftar Isi

BSN

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) 8367:2017 dengan judul "Spesifikasi perancangan rangka pemikul momen khusus beton pracetak prategang pascatarik tanpa lekatan" merupakan Standar baru yang mengacu pada ACI 550.3-13 *Design Specification for Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Special Moment Frames Satisfying ACI 374.1 (ACI 550.3-13) and Commentary.*

SNI ini dipersiapkan oleh Komite Teknik 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil melalui Subkomite Teknis 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur dan Konstruksi Bangunan. Standar ini telah dikonsensuskan tanggal 15 Oktober 2015 di Bandung. Konsensus ini dihadiri oleh para pemangku kepentingan *(stakeholder)* terkait, yaitu perwakilan dari produsen, konsumen, pakar dan pemerintah

Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 19 Oktober 2016 sampai dengan 18 Januari 2017, dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada

Pendahuluan

Standar ini mencakup persyaratan yang dapat diterapkan terhadap rangka pemikul momen hibrid yang terdiri atas balok beton pracetak pascatarik yang dihubungkan terhadap kolom beton. Rangka yang demikian cocok diterapkan pada daerah seismisitas tinggi atau terhadap struktur yang harus memenuhi persyaratan performa dalam daerah seismik tinggi atau terhadap kategori desain. Setelah kejadian seismik tinggi, rangka penahan momen diharapkan menunjukkan kerusakan yang minimal dalam daerah balok-kolom dan perpindahan permanen yang dapat diabaikan. Rangka penahan momen yang demikian tidak memenuhi persyaratan Pasal 21 SNI 2847:2013 untuk rangka monolitik. Menurut Pasal 21.1.1.8 SNI 2847:2013, penerimaan persyaratan tersebut mereka membutuhkan demonstrasi eksperimental dan analisis bahwa rangka memiliki kekuatan dan ketegaran sama atau melebihi kekuatan dan ketegaran rangka beton bertulang monolitik yang setara yang memenuhi persyaratan Pasal 21. Standar ini memaparkan persyaratan yang dapat digunakan perencana untuk mendemonstrasikan, melalui analisis, bahwa rangka memiliki kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan rangka monolitik yang setara.

Spesifikasi perancangan rangka pemikul momen khusus beton pracetak pascatarik tanpa lekatan

1 Umum

1.1 Pendahuluan

Untuk daerah rawan gempa, Pasal 21.1.1.8 SNI 2847:2013 memperkenankan penggunaan sistem struktur yang tidak memenuhi persyaratan Pasal 21 jika disediakan bukti eksperimental tertentu dan analisis. Maksud dari pada SNI 7834:2012, “Metode uji dan kriteria penerimaan sistem struktur rangka pemikul momen beton bertulang pracetak untuk bangunan gedung”, adalah untuk menentukan bukti minimum yang diperlukan dalam mencoba memvalidasi penggunaan rangka penahan momen khusus yang bersifat balok-lemah kolom-kuat seturut Pasal 21.1.1.8. SNI 2847:2013

Sebelum dilakukan pelulusan pengujian, SNI 7834:2012 mensyaratkan bahwa suatu prosedur perencanaan perlu disusun untuk rangka penahan momen yang memiliki bentuk generik untuk mana penerimaan ingin diperoleh, dan bahwa prosedur perlu digunakan untuk memproporsikan modul pengujian. SNI ini mendefinisikan persyaratan yang perlu digunakan untuk satu tipe khusus rangka penahan momen yang tidak memenuhi persyaratan Pasal 21 SNI 2847:2013, tetapi dapat di validasi untuk digunakan di daerah berseismisitas tinggi menurut SNI 7834:2012 dan SNI 2847. Rangka menggunakan balok beton pracetak yang dipascatarik terhadap kolom pracetak atau cor di tempat. Kolom menerus melalui join-join, dan balok merupakan balok berbentang tunggal. Standard ini menyatakan rangka sebagai rangka hibrid karena mengkombinasikan konstruksi beton bertulangan biasa yang direncanakan meleleh dengan tendon pascatarik unbounded yang dirancang tetap elastis dalam gempa desain.

Dalam rangka hibrid tipe khusus ini, tendon pascatarik tanpa lekatan. Batang tulangan horizontal yang digraut dalam selongsong yang ditempatkan dalam kolom dan pada sisi atas dan bawah balok, yang dinyatakan dalam standar ini sebagai tulangan pendisipasi energi, memberikan kesinambungan tambahan antara balok dan kolom, dan memberikan kekuatan momen tambahan terhadap balok. Batang-batang tulangan ini mendisipasi energi sebaik mereka meleleh dalam tarik dan tekan secara bergantian selama gempa.

Fitur kunci dalam sistem ini adalah bahwa batang-batang digraut secara bebas dihilangkan lekatannya untuk sejarak tertentu dalam balok sekitar pertemuan balok-kolom agar meredusir regangan siklik yang tinggi yang tanpa itu dapat terjadi pada lokasi tersebut. Akibatnya, selama gempa balok dan kolom berpindah secara badan kaku dengan deformasi yang terjadi terutama pada pertemuan balok-kolom, sebagaimana balok berotasi kaku terhadap kolom.

Fitur kunci kedua adalah bahwa pascatarik memperkenankan balok dibangun tanpa korbel permanen yang biasanya terdapat pada konstruksi beton pracetak. Pascatarik memiliki dua tujuan. Pertama, friksi yang diinduksikan oleh pascatarik mentransfer geser vertikal pada pertemuan antara balok dan kolom untuk beban gravitasional dan lateral. Kedua, dengan pascatarik secara tegas direncanakan tetap elastis dalam kejadian gempa desain, pascatarik memaksa rangka momen kembali kepada posisi semula setelah gempa desain

Di bawah beban seismis, rangka-rangka momen khusus yang dijelaskan dalam standar ini dimaksudkan berperilaku yang berbeda dengan rangka-rangka monolitik. Kebanyakan deformasi rangka terjadi akibat pembukaan dan penutupan dari pada join pada permukaan antara balok pracetak dan kolom. Akibatnya, dengan prosedur detailing seperti dalam standar ini, ekstensi kerusakan selama kejadian gempa besar dibatasi secara esensial pada material

pengisi join, dan kerusakan dapat diperbaiki setelah kejadian gempa. Secara kontras, rangka monolitik yang direncanakan sesuai Pasal 21 SNI 2847-2013 dapat menderita retak yang nyata, dan mengalami lepuhan dalam daerah sendi plastis balok, join balok-kolom, atau keduanya, dan perbaikan dapat menjadi sangat mahal. Lebih jauh, rangka momen khusus monolitik yang direncanakan sesuai Pasal 21 SNI 2847-2013 dapat memperlihatkan deformasi lateral yang permanen dapat terjadi deformasi lateral permanen setelah gempa desain (GD), sedangkan rangka momen khusus yang dibahas dalam standar ini tidak terjadi deformasi lateral permanen.

Paragraf sebelumnya mendefinisikan karakteristik kunci dari rangka hibrid. Rincian persyaratan detail yang ada dalam standard ini diperuntukkan bagi satu tipe dari pada rangka momen hibrid khusus dengan:

a) kekuatan momen yang sama untuk tulangan pendisipasi energi atas dan bawah yang memotong permukaan sambungan antara balok pracetak dan kolom; dan
b) tendon pascatarik yang tanpa lekatan dari angkur ke angkur dan yang ditempatkan konsentris dalam penampang balok.

Rangka momen khusus dengan kuat momen yang tidak sama pada batang penulangan bagian atas dan bawah, dan dengan jumlah, lokasi, dan ikatan tendon pastarik yang berbeda dari yang dijelaskan dalam Standar ini, dapat secara proporsional memiliki karakteristik kinerja yang sama dengan rangka yang dijelaskan dalam Standar ini. Namun, penelitian penyelidikan tambahan untuk hal tersebut belum selesai sampai saat ini, dan modifikasi dari persyaratan yang dijelaskan dalam Standar ini, diperlukan sebelum ketentuan preskriptif untuk desain rangka tersebut dapat dirumuskan.

1.2 Ruang Lingkup

1.2.1 Standar ini mendefinisikan persyaratan untuk tipe tertentu dari rangka momen hibrid khusus yang terdiri dari balok beton pracetak yang dihubungkan pada sambungan terhadap kolom yang menerus melewati join ini. Sekalipun rangka-rangka semacam ini tidak memenuhi semua persyaratan Pasal 21.5 hingga 21.7 SNI 2847:2013, analisis dan pengujian serta laporan persyaratan sesuai SNI 7834-2012 telah menciptakan kekuatan yang andal dan terprediksi, disipasi energi, kekakuan, dan kapasitas goyangan untuk konfigurasi balok-kolom karakteristik dari pada rangka-rangka yang dibahas dalam standar. Rangka momen khusus tersebut diijinkan untuk struktur yang diterapkan pada katagori desain soesifik D , E , atau F sesuai dengan 21.8.4 dari SNI 2847:2013.

1.2.2 Standar ini diperuntukkan untuk perencana profesional berlisensi dan/atau bersertifikat keahlian yang berpengalaman dalam perancangan bangunan tahan gempa serta perancangan dan konstruksi beton pracetak.

1.2.3 Persyaratan dalam Standar ini merupakan pelengkap dari SNI 2847-2013 dan peraturan bangunan umum lainnya, dan akan mengatur dalam segala hal yang berkaitan dengan desain dan konstruksi rangka momen khusus hibrid yang dijelaskan dalam Standar ini, kecuali dimana Standar ini bertentangan dengan persyaratan dari peraturan bangunan umum yang diadopsi secara sah menurut hokum.

1.2.4 Persyaratan yang tercantum dalam standar ini dikhususkan bagi rangka momen hibrid khusus dengan:

1. kekuatan momen yang sama untuk tulangan pendisipasi energi atas dan bawah yang memotong permukaan sambungan antara balok pracetak dan kolom; dan
2. tendon pascatarik yang *unbonded* dari angkur ke angkur dan yang ditempatkan konsentris dalam penampang balok.

1.2.5 Semua komponen beton pracetak dan beton bertulang dan sistem rangka momen, dan rangka dengan beban gravitasional yang terkait, harus direncanakan memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 kecuali sebagai mana dimodifikasi oleh standar ini.

1.2.6 Persyaratan pemeriksaan khusus dalam Pasal 1.3.5 SNI 2847:2013 harus dipenuhi oleh semua komponen beton pracetak dan beton bertulang, dan sistem rangka momen khusus.

1.3 Gambar Struktur

Gambar dari rangka penahan momen harus menunjukkan semua fitur kerja, termasuk rincian yang penting untuk memenuhi kinerja seismik rangka penahan momen. Rincian penting meliputi:

a) debonding tulangan khusus yang memotong antarmuka balok – kolom
b) mengangkur tulangan pendisipasi energi dan tendon dalam balok dan kolom
c) mengembangkan interaksi pelat lantai–rangka yang memenuhi dengan yang diasumsikan dalam standar desain.

1.4 Satuan

Satuan dalam spesifikasi ini dinyatakan dalam satuan SI.

2 Notasi dan Definisi

2.1 Notasi

A_j : luas penampang efektif dalam suatu join, mm^2; Pasal 21.5.3.1 SNI 2847:2013
A_{ps} : luas penampang tendon pascatarik area yang melewati hubungan balok-kolom, mm^2
A_s : luas tulangan pendisipasi negeri atas melintasi hubungan balok-kolom, mm^2.
A_s' : luas tulangan bawah khusus yang melewati hubungan balok-kolom, mm^2.
A_{vc} : luas tulangan simpai atau spiral dalam jarak s_{vc}, mm^2.
b : lebar permukaan tekan balok pracetak, mm.
C : gaya tekan pada saat kekuatan lentur M_{pr} yang mungkin, bekerja pada sambungan, N
c : jarak dari serat tekan terluar tatakan graut terhadap sumbu netral pada sambungan balok kolom, mm.
d : jarak dari serat tekan terluar tatakan graut pada sambungan terhadap titik pusat tulangan tarik khusus, mm.
d_b : diameter batang tulangan khusus, mm.
E : efek beban gempa atau momen dan gaya-gaya internal terkait
f_c' : kuat tekan spesifik beton, MPa
f_{prs} : tegangan dalam tendon pascatarik ketika tegangan dalam tulangan tarik khusus adalah f_u, MPa
f_{pu} : kuat tarik spesifik tendon pascatarik, MPa
f_{py} : kuat leleh spesifik tendon pascatarik, MPa
f_{se} : tegangan efektif dalam tendon pascatarik (setelah semua kehilangan prategang), MPa
f_u : kuat tarik spesifik tulangan khusus yang melewati sambungan balok-kolom, MPa
f_{vcy} : kuat leleh spesifik tulangan lingkar tertutup atau spiral, MPa
f_y : kuat leleh spesifik tulangan khusus, MPa
h : tebal total balok pracetak rangka momen, mm

h_p : dimensi kolom di arah tendon pascatarik, mm
l_d : panjang pengembangan dalam tarik untuk batang tulangan ulir lurus, mm.
L_{clear} : bentang bersih diukur dari muka ke muka kolom, mm.
L_u : panjang di mana tulangan khusus melewati hubungan kolom-balok, dihilangkan lekatannya, mm.
L_{ups} : panjang terkait dengan permukaan dalam jarak mana tendon pascatarik dihilangkan lekatannya, mm.
M_{pr} : kuat lentur mungkin pada hubungan balok-kolom rangka momen, N-mm
M_{prs} : kontribusi dari tulangan pascatarik terhadap M_{pr}, N-mm
M_s : kontribusi tulangan khusus terhadap M_{pr}, N-mm
M_u : momen terfaktor yang terjadi pada antarmuka balok-kolom rangka pemikul momen
N_u : gaya pascatarik efektif, $A_{ps}f_{se}$, N
s_{vc} : spasi tulangan transversal yang melingkup panjang pengembangan tulangan khusus, mm.
V_c : kuat geser nominal yang dikerahkan oleh beton, N
V_D : gaya geser akibat beban mati tidak terfaktor, N
V_L : gaya geser akibat beban hidup tidak terfaktor, N
V_n : kuat geser nominal, N
V_u : gaya geser terfaktor pada penampang, N
α_b : koefisien yang mengkuantifisir panjang debonded tambahan efektif untuk tulangan khusus pada kuat lentur yang mungkin
β_1 : faktor yang didefinisikan dalam Pasal 10.2.7.3 SNI 2847:2013
Δ_{prs} : perpanjangan tendon pascatarik pada kuat lentur yang mungkin, mm.
Δ_s : perpanjangan tulangan pendisipasi energi pada kuat lentur yang mungkin, mm.
ε_f : regangan tulangan khusus pada saat hancur
ε_{prs} : regangan tendon pascatarik pada saat tegangan dalam tulangan khusus sebesar f_u
ε_{se} : regangan tendon pascatarik akibat gaya prategang efektif saja (setelah semua kehilangan prategang)
ε_{su} : regangan dalam tulangan khusus terkait dengan perpanjangan $_s$
ε_u : regangan dalam tulangan khusus terkait dengan kuat tarik f_u
θ_L : sudut simpangan, radian
$\theta_{Ldesain}$: sudut simpangan pada perpindahan rencana, radian
θ_{Lmaks} : kapasitas sudut simpangan pada M_{prs}, radian
Φ : faktor reduksi kekuatan
λ : faktor kuat lebih kolom
μ : koefisien friksi

2.2 Definisi

Definisi berikut ini, yang merupakan tambahan terhadap yang ada dalam Pasal 2.2 SNI 2847:2013 dan SNI 7834:2012.

Tulangan pendisipasi energi — Penulangan (non-prategang) yang melewati antarmuka balok pracetak dan kolom, dihilangkan lekatannya untuk panjang yang ditentukan dalam balok yang berdekatan dengan antarmuka balok-kolom dan yang sesuai dengan Pasal 6.2, dan direncanakan mengalami kelelehan pada gempa desain.

Lokasi aksi nonlinear — Antarmuka dimana ujung balok pracetak rangka penahan momen bertemu dengan muka kolom.

Penulangan seismik — Tulangan yang memenuhi Pasal 21.1.5 SNI 2847:2013.

3 Acuan Normatif

SNI 2847:2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*

SNI 7834:2012, *Metode uji dan kriteria penerimaan sistem struktur rangka pemikul momen beton bertulang pracetak untuk bangunan gedung*

SNI 1726:2012, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*

ASTM A416/A416M-12a, *Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven Wire for Prestressed Concrete*

ASTM A 706/A706M-09b, *Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement*

ASTM C 1107/C1107M-13, *Specification for Packaged Dry, Hydraulic-Cement Graut (Nonshrink)*

IBC 2009, *International Building Code* 2009

4 Bahan

4.1 Umum

Semua bahan dan pengujian material harus sesuai dengan persyaratan SNI 2847:2013 kecuali sebagaimana ditentukan dalam standar ini.

4.2 Selongsong

Selongsong, termasuk untuk tulangan pendisipasi energi, harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013, Pasal 18.17.

4.3 Tulangan pendisipasi energi

4.3.1 Tulangan pendisipasi energi harus harus memiliki tinggi sirip, kekuatan leleh, dan perpanjangan ultimit yang sama dengan atau melebihi yang disyaratkan oleh ASTM A706/A706M Grade 60.

4.3.2 Kecuali jika data uji mengenai sifat tegangan–regangan diperoleh sebelum desain dan konstruksi, sifat tegangan–regangan harus sesuai dengan ASTM A706/A706M *Grade* 60. Untuk kasus yang terakhir, kuat tarik harus diambil sebesar kuat tarik minimum spesifik f_u. Regangan ε_u pada level kuat tarik harus diambil sebesar 0,02 kurang dari regangan pada perpanjangan minimum yang ditentukan dalam ASTM A 706/A706M untuk ukuran batang yang diberikan.

4.3.3 Mana kala sifat-sifat didasarkan pada data uji sebagai yang diizinkan oleh Pasal 4.3.2, sifat tegangan-regangan tulangan khusus untuk setiap ukuran batang yang digunakan dalam rangka pemikul momen harus diperoleh dari pengujian tarik yang ditentukan dalam ASTM A706/A706M. Regangan rata-rata ε_u tulangan pada kuat tarik rata-rata f_u harus diperoleh. Rata-rata harus didasarkan pada hasil minimal tiga uji tarik untuk setiap ukuran batang, untuk setiap suhu baja yang digunakan untuk rangka pemikul momen.

4.4 *Strand* dan tendon prategang

4.4.1 Dalam rangka penahan momen yang memenuhi persyaratan standar ini, tendon strand prategang pascatarik harus digunakan pada lokasi aksi nonlinear, dan tulangan prategang pratarik harus diizinkan dalam komponen lentur beton pracetak.

4.4.2 *Strand* prategang harus sesuai dengan ASTM A416/A416M.

4.4.3 Strand prategang diperkenankan untuk memikul gaya–gaya yang ditimbulkan gempa, asalkan regangan pada strand tidak melampaui 0,011 pada rasio drift sudut batas $\theta_{Ldesign}$.

4.4.4 Pengangkuran harus menahan gaya-gaya yang ditimbulkan gempa dengan memenuhi Pasal 21.5.2.5 (d) SNI 2847:2013.

4.5 Graut antarmuka

Grout tanpa susut harus mengandung minimal 0,1% serat baja atau propilena dan memenuhi ASTM C1107/C1107M.

4.6 Graut untuk pengangkuran tulangan pendisipasi energi

Grout yang digunakan mengangkur tulangan khusus harus sesuai dengan persyaratan Pasal 18.18 SNI 2847:2013.

5 Persyaratan sistem rangka

5.1 Umum

Desain harus menyediakan:

5.1.1 Suatu jalur beban yang menerus tanpa gangguan ke arah fondasi untuk semua komponen dalam kasus beban mati, beban hidup, angin dan gaya gempa.

5.1.2 Integritas keseluruhan jalur beban, bila struktur dan semua tingkat dikenakan rasio drift tingkat dengan nilai batas 0,035.

5.2 Kekuatan

5.2.1 Pada semua penampang, kuat nominal yang dihitung sesuai persyaratan SNI 2847:2013 dan Pasal 7.0 standar ini, dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan menurut SNI 2847:2013, harus sama atau melebihi kuat yang dibutuhkan untuk semua kombinasi beban dalam Pasal 9.2 SNI 2847:2013 yang berkaitan dengan beban gempa E.

5.2.2 Di mana diperlukan, kondisi beban yang memerlukan penggunaan faktor kuat lebih Ω_o harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012.

5.3 *Drift*

5.3.1 Rasio *drift* total harus dihitung sebagai perpindahan lateral pada puncak struktur dibagi dengan ketinggian.

5.3.2 Rasio *drift* tingkat harus dihitung sebagai *drift* tingkat dibagi dengan tinggi tingkat.

5.3.3 *Drift* sudut total maksimum rencana $\theta_{Ldesain}$ dan *drift* sudut tingkat maksimum rencana struktur di mana rangka merupakan bagian-bagiannya, harus dihitung sebagai mana disyaratkan dalam Pasal 7.8.6, 7.9.2, atau 11.1 dari SNI 1726:2012. Fleksibilitas pondasi harus dipertimbangkan dan, bila berpengaruh, dimasukkan dalam analisis. Perhitungan harus melibatkan konsiderasi jenis tanah pada mana rangka penahan momen didirikan sesuai deng.an Pasal 7.13.3 dari SNI 1726:2012.

5.3.4 *Drift* sudut total rencana $\theta_{Ldesain}$ dan *drift* sudut tingkat pada kombinasi beban yang menentukan yang melibatkan beban gempa E, dihitung menurut Pasal 5.3.3, tidak boleh melebihi 0,024.

5.3.5 Kebutuhan *drift* sudut untuk kapasitas *drift* sudut semua join harus dihitung sebagai perjumlahan komponen yang diakibatkan oleh:

a) deformasi inelastis pada antar muka balok-kolom pada saat kuat yang mungkin pada antarmuka tersebut;dan
b) jumlah deformasi elastis yang berkaitan pada balok dan kolom yang berhubungan dengan join tersebut dan deformasi geser pada join.

5.3.6 Struktur harus direncanakan memiliki kapasitas *drift* sudut total θ_{Lmax} dan kapasitas sudut lantai, sama atau lebih besar dari 0,035.

5.3.7 Kapasitas *drift* sudut tingkat harus merupakan kapasitas *drift* sudut terkecil pada join dalam tingkat tersebut.

5.4 Karakteristik rangka penahan momen

Rangka pemikul momen khusus beton pracetak yang disebutkan dalam standar ini, selain memenuhi persyaratan Pasal 21.5 hingga Pasal 21.7 SNI 2847:2013, harus memiliki karakteristik yang memenuhi persyaratan dalam Pasal 5.4.1 hingga Pasal 5.4.5.

5.4.1 Balok beton pracetak berbentang tunggal harus digunakan. Kolom beton pracetak bertingkat tunggal atau banyak harus diizinkan untuk diterapkan.

5.4.2 Untuk rangka, hanya lokasi antarmuka antara balok dan join balok–kolom merupakan lokasi aksi nonlinear, kecuali untuk sambungan pondasi ke kolom.

5.4.3 Untuk kolom pracetak multitingkat, hubungan lewatan kolom pada tingkat manapun hanya diizinkan pada sepertiga tengah dari tinggi antara sisi atas pelat dan sisi bawah balok, kecuali pada hubungan kolom–fondasi. Sambungan tipe 2, yang disebutkan dalam Pasal 21.1.6.1(b) SNI 2847:2013, diperkenankan di lokasi mana saja dalam kolom kecuali dalam join balok–kolom.

5.4.4 Tendon pascatarik dalam balok harus konsentris dan gaya-gaya dalam tendon harus:

a) harus memiliki seperti yang dipersyaratkan oleh Pasal 7.2.1, prategang efektif f_{se} yang mengerahkan gaya jepit sepanjang antarmuka balok–kolom yang cukup untuk memikul geser yang disebabkan oleh beban gravitasional terfaktor,
b) memiliki tegangan maksimum pada $\theta_{Ldesign}$, sebagai mana yang dipersyaratkan oleh Pasal 7.6.5, yang kurang dari tegangan pada level regangan 0,11 untuk tendon pascatarik,
c) memiliki tegangan maksimum f_{prs} pada rasio *drift* lantai dari θ_{Lmax}, yang kurang dari 0,95 pada kuat tarik yang dispesifikasi untuk tendon pascatarik, f_{pu}.

5.4.5 Ujung atas dan bawah tulangan khusus dalam balok harus memiliki luas yang sama dan kuat yang sama. Tulangan ini harus diikat sepanjang kolom dan dihilangkan lekatannya dalam balok yang berdekatan kepada antarmuka balok–kolom. Tulangan ini harus memiliki:

a) untuk ujung atas dan bawah batang tulangan, sebagai mana disyaratkan Pasal 7.4.2, kekuatan yang cukup besar menyediakan rasio disipasi energi relatif yang tidak kurang dari 1/8 menurut SNI 7834:2012, dan juga cukup kecil sehingga prategang efektif dalam tendon pascatarik dapat menutup celah manapun pada antarmuka balok–kolom sewaktu gerakan gempa berhenti,
b) untuk tulangan pendisipasi energi, seperti yang dipersyaratkan oleh Pasal 7.4.1, suatu luas dan kuat leleh yang cukup untuk mencegah keruntuhan balok pada beban gravitasi tidak terfaktor dalam kejadian keruntuhan tulangan pascatarik.

5.5 Distribusi rangka pemikul momen dalam struktur

Dalam suatu struktur dengan rangka pemikul momen yang digunakan dalam kombinasi rangka penahan gaya gravitasi beton pracetak, sistem pemikul gaya lateral harus didistribusikan dalam keseluruhan struktur, sebagai mana yang dipersyaratkan oleh Pasal 21.3.5.6 SNI 2847:2013.

5.6 Interaksi momen rangka–pelat lantai

Interaksi momen penahan rangka–pelat lantai harus memenuhi persyaratan Pasal 5.6.1 dan 5.6.2:

5.6.1 Pelat lantai harus direncanakan dan didetail, dan sambungannya terhadap balok pracetak dibuat sedemikian sehingga perpindahan relatif pada antarmuka balok dan kolom rangka hibrid dapat konsisten dengan perpindahan yang diantisipasi pada antarmuka tersebut berdasarkan karakteristik tanggap yang ditetapkan berdasarkan uji penerimaan.

5.6.2 Bukaan join pada antar muka balok–kolom rangka pemikul momen untuk aksi seismik tidak boleh mempengaruhi kinerja sistem pemikul beban gravitasi ataupun diafragma.

6 Persyaratan perancangan rangka balok pemikul momen

6.1 Prategang

Pengaruh prategang harus sesuai dengan persyaratan Pasal 18 SNI 2847:2013, kecuali pada ketentuan-ketentuan dari:

a) Pasal 18.4 tidak berlaku untuk kombinasi beban yang disyaratkan oleh Pasal 9.2 SNI 2847:2013;
b) Pasal 18.9 SNI 2847:2013 untuk tulangan rekatan minimum berlaku hanya untuk daerah balok di luar daerah di mana tulangan pendisipasi energi disyaratkan dihilangkan lekatannya.

6.2 Desain balok

6.2.1 Kuat geser balok untuk *drift* nol harus dihitung dengan menggunakan Persamaan (11-2) SNI 2847:2013 dengan V_c dihitung dengan Persamaan (11-4) SNI 2847:2013 dan N_u diambil sebagai $A_{ps}f_{se}$.

6.2.2 Persyaratan dari Pasal 21.5.4.2 SNI 2847:2013 untuk memproporsikan tulangan transversal tidak berlaku terhadap beton dalam balok yang berdekatan dengan antarmuka balok–kolom.

6.2.3 Pada setiap lokasi dimana penampang balok berubah, kuat geser harus dihitung dan tulangan yang cukup harus disediakan memikul geser di lokasi tersebut. Tulangan geser harus dalam bentuk sengkang tertutup, anyaman lasan fabrik atau *grid* lasan.

6.2.4 Ujung-ujung balok pracetak harus didetailkan guna mengurangi pengaruh kerontokan atau pelotokan di mana sudut-sudut beton menumpu pada graut antar muka atau pada kolom. Detail tersebut harus dinyatakan dalam gambar, atau dalam spesifikasi proyek harus mensyaratkan pengembangan tiap detailnya.

6.2.5 Angkur tendon pascatarik dan tulangan pendisipasi energi sepanjang di mana dihilangkan lekatannya, harus dilindungi terhadap korosi sesuai dengan Pasal 18.16 SNI 2847:2013. Angkur pascatarik harus dilapisi untuk mencegah intrusi air. Detail metode perlindungan harus dicantumkan dalam standar kontrak.

7 Persyaratan untuk antarmuka balok–kolom rangka pemikul momen

7.1 Umum

Antarmuka pada sambungan antara balok rangka pemikul momen dan kolom harus memenuhi persyaratan Pasal 7.2 hingga 7.7.

7.2 Gaya prategang

7.2.1 Gaya prategang minimum $A_{ps}f_{se}$ harus dihitung dengan

$$A_{ps}f_{se} = \frac{(1{,}2V_D + 1{,}6V_L)}{\phi\mu} \qquad (7.2.1)$$

dalam mana μ adalah koefisien friksi bernilai 0,6, dan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan untuk geser, menurut Pasal 9.3.2.3 SNI 2847:2013.

7.2.2 Pada kuat lentur maksimum yang mungkin pada sambungan, kuat geser vertikal rencana harus bernilai sama atau lebih dari pada kuat geser vertikal yang dibutuhkan. Kecuali ditunjukkan oleh pengujian dan analisis bahwa prosedur alternatif dapat digunakan, persyaratan ini harus dipenuhi sebagai berikut:

1. kuat geser vertikal yang dibutuhkan harus dihitung menurut Pasal 21.5.4 SNI 2847:2013.
2. kuat geser vertikal rencana pada M_{pr} harus diambil sebesar $\phi\mu C$, di mana C adalah gaya tekan yang dipikul oleh beton pada antar muka. Dalam menghitung C, tegangan dalam tendon pascatarik harus diambil sebesar $\boldsymbol{f_{prs}}$, tegangan dalam tulangan pendisipasi energi pada kondisi tarik harus dihitung menurut Pasal 7.6.3 dan 7.6.4, dan tegangan dalam tulangan khusus di daerah tekan harus diambil sebesar 1,25 f_y.

7.3 Graut antarmuka

7.3.1 Tebal graut antar muka tanpa susut tidak boleh melebihi 38 mm.

7.3.2 Kuat tekan graut yang disyaratkan tidak boleh kurang dari f_c' untuk balok.

7.4 Tulangan pendisipasi energi

7.4.1 Gaya leleh tulangan khusus harus memenuhi persyaratan berikut

$$A_sF_y \geq \frac{V_D + V_L}{\phi} \quad (7.4.1)$$

di mana ϕ adalah faktor reduksi kekuatan untuk geser menurut Pasal 9.3.2.3 dari SNI 2847:2013.

7.4.2 Rasio momen yang dikerahkan oleh tulangan pendisipasi energi M_s terhadap kuat lentur yang mungkin M_{pr} tidak boleh melebihi 0,5 untuk momen positif maupun momen negatif.

7.5 Kuat lentur nominal

7.5.1 Kuat lentur pada antarmuka balok–kolom rencana harus berdasarkan

$$\phi M_n \geq M_u \quad (7.5.1)$$

dimana ϕ adalah faktor reduksi kekuatan untuk lentur dan sama dengan 0,9.

7.5.2 Drift sudut lantai rencana pada perpindahan rencana, $\theta_{Ldesain,}$ harus memenuhi Pasal 5.3.4.

7.5.3 Kuat lentur nominal pada antarmuka balok-kolom pada $\theta_{Ldesain}$, harus dihitung berdasarkan pemenuhan kondisi aplikatif dari keseimbangan dan kompabilitas deformasi.

7.6 Kuat lentur yang mungkin

7.6.1 Kuat lentur yang mungkin pada antarmuka balok–kolom untuk momen positif maupun negatif pada rasio *drift* 0,035 harus dihitung berdasarkan asumsi dalam Pasal 7.6.2 hingga Pasal 7.6.6 pada standar ini, dan Pasal 10.2.5 hingga Pasal 10.2.7 dari SNI 2847:2013, dan pemenuhan kondisi aplikatif dari keseimbangan dan kompatibilitas deformasi.

7.6.2 Ketika sambungan pada antar muka terbuka akan perpanjangan Δ_s tulangan pendisipasi energi dalam tarik, dan perpanjangan tambahan Δ_{prs} tendon pascatarik harus diasumsikan berbanding langsung terhadap jarak dari garis netral.

7.6.3 Regangan dalam tulangan khusus dalam tarik, ε_{su} harus dihitung dengan

$$\varepsilon_{su} = \frac{\Delta_s}{(L_u + \alpha_b d_b)} \quad (7.6.3)$$

dimana L_u adalah panjang bentang di mana tulangan pendisipasi energi dihilangkan lekatannya dalam balok yang berdekatan dengan antar muka; Δ_s perpanjangan yang berkaitan dengan *drift* tingkat 0,035; dan α_b koefisien yang mengkuantifisir panjang *debonded* tambahan efektif yang berkembang dalam tulangan pendisipasi energi pada M_{pr}. Nilai α_b harus ditentukan dari satu set pengujian dan tidak boleh diambil lebih besar dari 5,5 dan tidak boleh kurang dari 2,0.

7.6.4 Regangan yang dihitung menurut Persamaan (7.6.3) tidak boleh melampaui $0.9\varepsilon_u$. Kecuali jika tegangan baja yang berkaitan dengan ε_{su} dihitung menurut persamaan (7.6.3) ditentukan dari kurva tegangan–regangan yang diukur untuk baja, tegangan dalam tulangan pendisipasi energi pada M_{pr} harus diambil sebesar f_u.

7.6.5 Regangan dalam baja prategang ε_{prs} akibat rotasi pada antarmuka, harus dihitung dengan

$$\varepsilon_{prs} = \varepsilon_{se} + \left(\frac{\Delta_{prs}}{L_{ups}}\right) \quad (7.6.5)$$

dalam mana ε_{se} adalah regangan dalam baja prategang pada prategang efektif, dan L_{ups} panjang *unbonded* yang berkaitan dengan satu antarmuka atau panjang yang berkaitan dengan antarmuka pada mana tendon pascatarik *unbonded*. Tegangan f_{prs} dalam tendon pascatarik pada M_{pr} tidak boleh melebihi 0.95 f_{pu}.

7.6.6 Kecuali jika tegangan dalam tulangan pendisipasi energi dalam tekan dihitung berdasarkan konsiderasi kompatibilitas deformasi untuk beton tekan dan sifat tegangan–regangan yang diketahui untuk tulangan pendisipasi energi, tegangan dalam tulangan tersebut pada M_{pr} harus diambil sebesar 1,25 f_y.

7.7 Pengangkuran tulangan pendisipasi energi

7.7.1 Tulangan pendisipasi energi harus diangkurkan dengan graut dalam selongsong yang ditempatkan dalam beton komponen pada kedua sisi antarmuka.

7.7.2 Panjang penyaluran ℓ_d untuk tulangan pendisipasi energi yang diangkurkan dalam selongsong harus diambil sebesar 25 d_b kecuali jika didapatkan nilai yang lebih kecil dari serangkaian pengujian.

7.7.3 Pengangkuran bagian atas dan bawah tulangan khusus yang memotong antarmuka harus disambung secara lewatan terhadap tulangan atas dan bawah yang berpasangan dari balok pracetak. Tulangan melingkar tertutup, spiral, baja fabrik las, atau *grid* tulangan lasan harus digunakan untuk mengekang daerah angkuran. Tulangan pengekang harus disediakan baik horizontal maupun vertikal dan harus mencapai panjang pengangkuran. Tulangan pengekang harus memiliki kuat leleh $A_{vc} f_{vcy}$ yang dihitung sebesar $0{,}7A_s f_u S_{vc}/\ell_b$ untuk tulangan atas, dan sebesar $0{,}7A_s' f_u S_{vc}/\ell_b$ untuk tulangan bawah, di mana S_{vc} adalah spasi tulangan transversal.

7.7.4 Pembatasan penggunaan sambungan lewatan dalam Pasal 21.5.2.3 SNI 2847:2013, tidak berlaku untuk transfer gaya dari tulangan khusus kepada tulangan memanjang balok pracetak yang memenuhi persyaratan Pasal 7.7.3.

7.8 Distribusi tulangan lentur

Ketentuan Pasal 10.6 SNI 2847:2013 mengenai distribusi tulangan lentur tidak berlaku untuk tulangan pendisipasi energi.

8 Join rangka

8.1 Umum

8.1.1 *Join* rangka harus direncanakan sesuai persyaratan dalam Pasal 21.7 SNI 2847:2013. Kuat geser nominal harus dihitung dengan menggunakan luas *join* efektif A_j, dengan lebar efektif mencakup deduksi untuk lebar dari selongsong paskatarik dan lebar dari selongsong untuk tulangan pendisipasi energi.

8.1.2 Desain kuat geser *join* pada saat M_{pr} bekerja pada muka yang berlawanan dari *join* tidak boleh diambil melampaui ϕ dikalikan nilai yang tercantum dalam Pasal 21.7.4.1 SNI

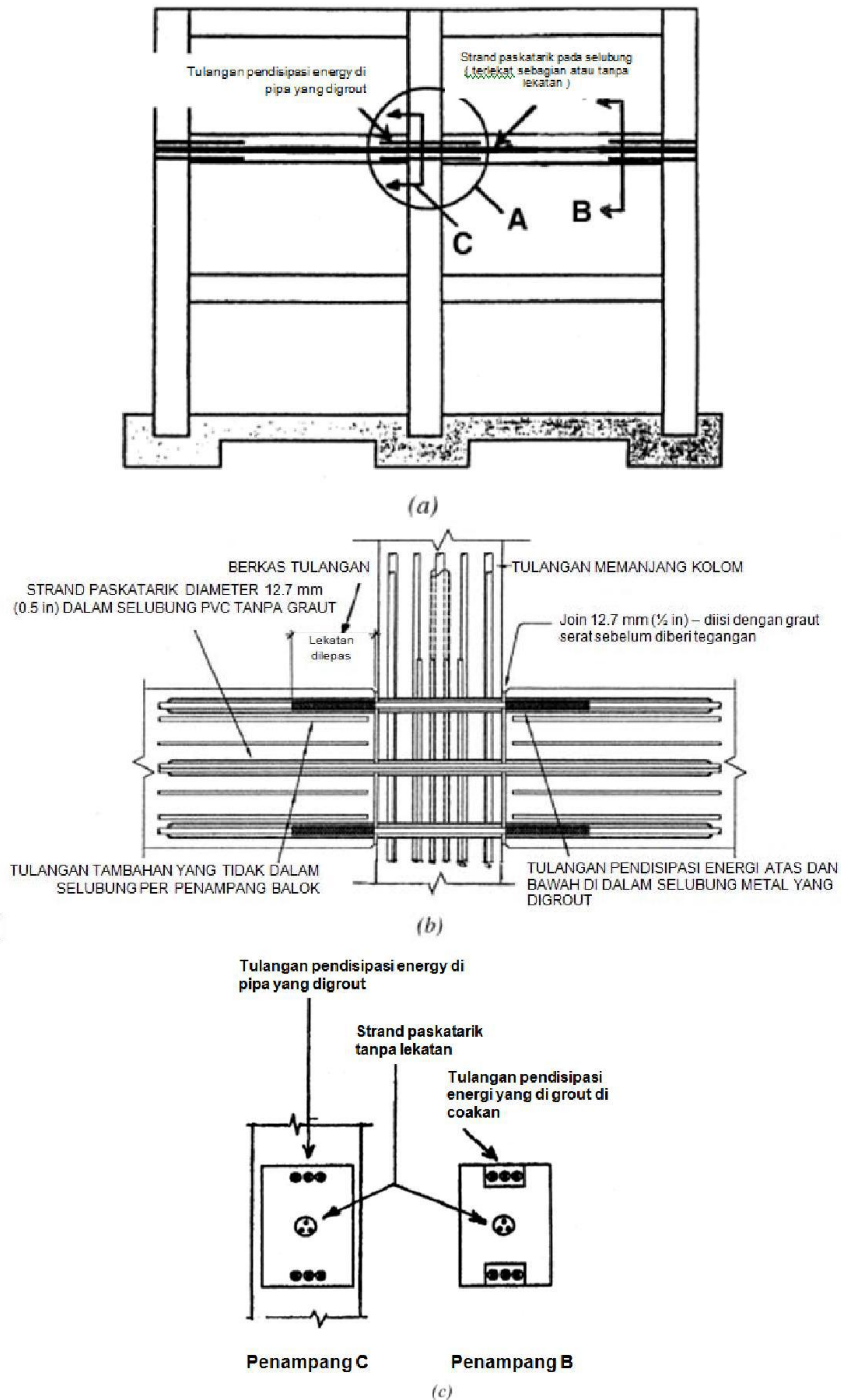
2847:2013. Suatu nilai yang lebih kecil dapat digunakan jika penampilan dari pada *join* akibat kejadian seismik besar merupakan suatu hal yang penting.

Lampiran A
(normatif)
Penjelasan

R1 Pendahuluan dan Ruang Lingkup

R1.1 Pendahuluan

Studi laboratorium (Stone, dkk.1995; Hawkins dan Ishizuka 1988; Priestley dan MacRae 1994; Palmieri dkk.1996; Nakaki dkk.1999; Priestley dkk.1999; Day 1999) telah menunjukan bahwa rangka momen beton pracetak atau prategang dapat memberikan tingkat keamanan dan kelayanan selama dan setelah kejadian gempa, yang memenuhi atau melampaui tingkat kinerja yang disyaratkan oleh Pasal 21.1.1.8 SNI 2847:2013. Untuk mencapai tingkat kinerja yang demikian, rangka momen beton pracetak atau prategang harus diproporsikan dan didetail secara cermat. Standar ini didasarkan atas studi yang dilaporkan dalam oleh Stone dkk. (1995), Hawkins dan Ishizuka (1988); Priestley dan MacRae (1994); Priestley (1996), Nakaki dkk.(1999); Priestley dkk.(1999), Day (1999). Standar ini berisikan persyaratan minimum untuk menjamin bahwa rangka dapat menahan serangkaian osilasi hingga memasuki tanggap kisaran inelastis tanpa penurunan drastis dalam kekuatan atau *drift* tingkat yang berlebihan. Lebih jauh, rangka harus menampilkan kerusakan yang minimal atau tidak rusak sama sekali dalam daerah sambungan balok–kolom dan tidak ada perpindahan setelah osilasi berhenti.

Tipe rangka penahan beban gempa interior cirian dalam Gambar R1.1. Detail untuk penampang vertikal memanjang balok sebagaimana melalui kolom terlihat pada Gambar R1.1(b) dan detail dari penampang balok pada muka kolom (Penampang B) dan pada garis sumbu kolom (Penampang C) terlihat pada Gambar R1.1(c). Rangka terdiri atas kolom multi-tingkat terhadap mana dihubungkan balok beton pracetak berbentang tunggal. Kecuali untuk kemungkinan leleh pada dasar kolom, hubungan antara balok pracetak dan kolom menerus merupakan lokasi pada mana leleh tulangan (lokasi aksi nonlinier) terjadi dalam rangka selama kejadian gempa berat. Potongan setiap antarmuka yaitu terdiri dari tiga elemen tulangan *debonded*: *strand* pascatarik yang diteruskan penuh sepanjang rangka pada arah bidang; dan tulangan khusus berupa batang ulir yang diangkurkan dengan grauting dalam selongsong yang sebelumnya telah dibentuk dalam balok dan kolom. Panjang tulangan yang diteruskan dimana tulangan khusus dihilangkan lekatannya dalam balok dekat sambungan dipilih secara sengaja untuk memberikan level desain yang diinginkan untuk performa keseluruhan. Cheok dkk. (1996) menerangkan perkembangan basis rasional untuk prosedur desain rangka dengan kekuatan identik untuk tulangan pendisipasi energi *debonded* parsial atas dan bawah, dan untuk tendon pascatarik sentral yang tetap elastis selama kejadian gempa besar. Stanton dan Nakaki (2002) menjelaskan pedoman perencanaan sistem rangka yang sama dengan menggunakan prosedur langkah demi langkah iteratif dan prosedur desain berbasis perpindahan. Hawileh dkk. (2006) mengajukan prosedur desain nondimensional, noniterasi, yang disederhanakan untuk sistem yang sama baik untuk desain berbasis perpindahan atau desain berbasis gaya. Jika desain berbasis gaya digunakan, kombinasi SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013 mengijinkan penggunaan nilai R, C_d dan Ω_o untuk perencanaan rangka hibrid momen khusus sesuai dengan standar ini, yang sama seperti nilai R, C_d dan Ω_o untuk rangka momen monolit yang dicor di tempat sesuai dengan Pasal 21.5 sampai Pasal 21.7 pada SNI 2847:2013

Gambar R1 - Tipe portal pemikul momen yang terbuat dari komponen beton pracetak yang disambungkan secara diskrit: (a) elevasi portal pemikul momen interior; (b) detail sambungan; (c) penampang cirian-B dan C

R1.2 Untuk rangka momen hibrid yang dibahas dalam standar ini dapat diterima sebagai rangka momen khusus, detailing khusus rangka perlu dilaksanakan secara cermat melalui inspeksi menerus oleh personil yang profesional melakukan hal tersebut.

R1.3 Gambar Struktur

Karena detailing tulangan di sekitar sambungan balok beton pracetak dengan kolom menerus sangat esensial untuk memenuhi performa dari pada portal pemikul momen pada kejadian gempa kuat, detailing harus direncanakan secara cermat dan distandarkan dalam gambar-gambar untuk masing-masing sambungan portal pemikul momen. Untuk tulangan khusus, elemen esensial mencakup panjang tulangan yang dihilangkan lekatannya, bagaimana caranya men-*debonded* dan detail dari pada pengakuran balok dan kolom pracetak yang berdekatan. Untuk tendon pascatarik, elemen esensial adalah bagaimana dan di mana tendon perlu diangkurkan, dan bagaimana dipastikan bahwa tendon tetap dihilangkan lekatannya selama grauting dari pada hubungan antara balok dan kolom pracetak. Lebih lanjut, karena performa yang memuaskan dari portal pemikul momen hibrid mensyaratkan bahwa leleh hanya dibatasi pada tulangan khusus yang melalui sambungan balok–kolom, detail pelat lantai pada daerah sambungan harus direncanakan dan dilaksanakan sedemikian hingga tidak mempengaruhi kuat efektif atau kekakuan dari pada sambungan.

R2 Notasi dan Definisi

R2.1 Notasi

Luas tulangan khusus atas dan bawah masing-masing dinyatakan dengan A_s dan A_s', keduanya harus sama untuk portal penahan momen hibrid khusus yang dibahas dalam standar ini. Simbol berbeda digunakan untuk kedua tulangan untuk memfasilitasi diskusi dan bukan untuk menyatakan bahwa luas keduanya berbeda.

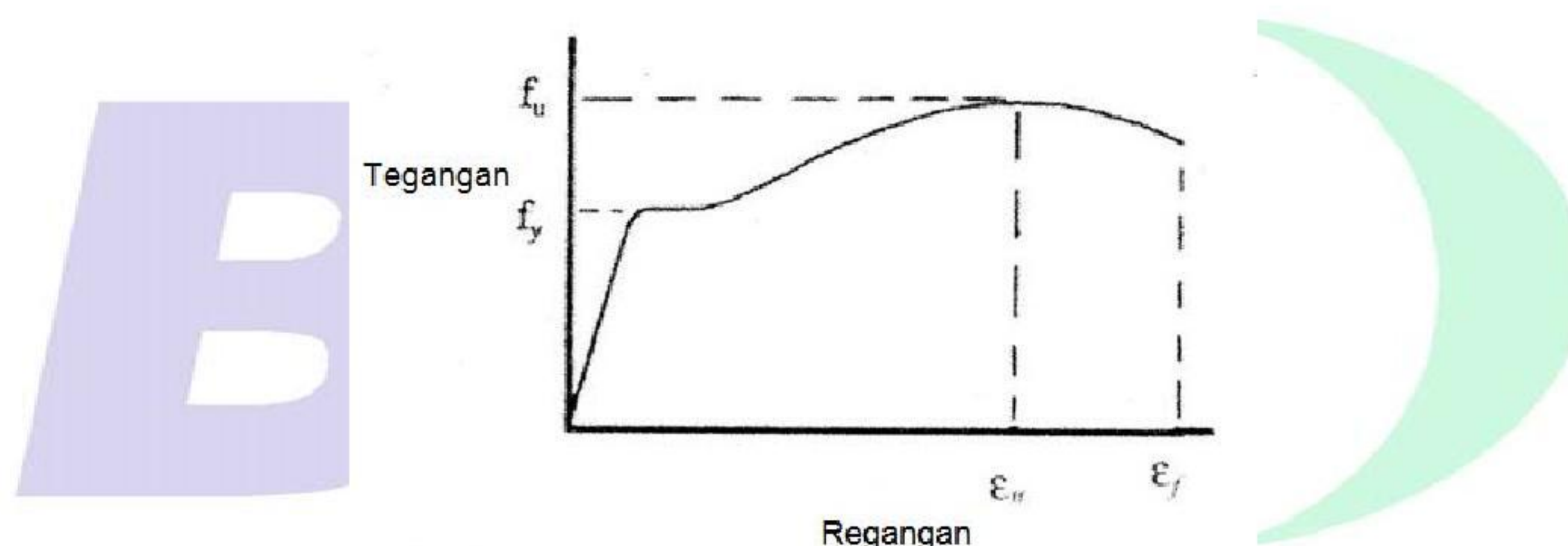
R2.2 Definisi

Terminologi "lokasi aksi nonlinier" diperkenalkan oleh *National Earthquake Hazard Reduction Program* (NEHRP) dari *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) (1997) menggiring perencana profesional bersertifikat mengenali perbedaan perilaku antara komponen rangka pracetak hibrid yang disambungkan secara diskrit dan konstruksi rangka penahan momen monolitik. Untuk konstruksi kolom kuat–balok lemah monolitik, rotasi inelastis yang terjadi pada perpotongan balok dan kolom didistribusikan sekitar tinggi balok di sepanjang balok. Pusat dari pada lokasi aksi nonlinier berada pada pusat dari pada panjang tersebut. Untuk konstruksi yang sama dengan rangka momen hibrid yang terdiri atas komponen pracetak yang disambungkan secara diskrit dan direncanakan seturut standar ini, rotasi inelastis terpusat pada sambungan balok–kolom pracetak. Sambungan merupakan pusat dari pada lokasi aksi nonlinier.

Definisi tulangan dalam SNI 2847:2013 tidak memungkinkan pembedaan yang mudah antara keempat tipe tulangan yang diijinkan digunakan dalam rangka momen khusus seturut standar ini. Perencana dapat memilih tulangan biasa untuk balok pracetak karena standar ini menyaratkan bahwa balok harus direncanakan tetap elastis sewaktu momen M_{pr} bekerja pada ujung-ujung balok. Secara kontras, tulangan kolom dapat secara lokal diberikan tegangan inelastis sewaktu balok memikul M_{pr}. Perencana kemudian memerlukan penggunaaan tulangan seismik seturut Pasal 21.1.5 SNI 2847:2013 untuk kolom. Tulangan selain tendon pascatarik yang memotong hubungan balok–kolom, direncanakan untuk leleh pada kondisi gempa desain (GD) dan dapat memiliki sifat-sifat yang secara radikal dipilih berbeda dari tulangan kolom dan balok tersebut. Dengan demikian, terminologi "tulangan pendisipasi energi" digunakan untuk menerangkan tulangan tersebut dan kegunaannya.

R4 Bahan

R4.3 Tulangan pendisipasi energi

Sifat tegangan–regangan dari pada tulangan khusus perlu didefinisikan secara tepat. Kekuatan sambungan balok–kolom dan perpindahan portal dikontrol dengan regangan maksimum yang terjadi pada tulangan khusus tersebut dan panjang *debonded* efektif. Regangan maksimum dalam tulangan tersebut selama gempa tidak boleh melampaui regangan ε_u di mana tulangan mencapai kuat tarik f_u, di mana ε_u dan f_u memiliki arti seperti dalam Gambar R4.3. Jika baja ASTM A706/A706M Grade 60 dispesifikasikan untuk tulangan pendisipasi energi dan tidak ada pengujian dilakukan atas tulangan yang digunakan dalam rangka, maka perencana harus menggunakan nilai regangan terbatas yang lebih kecil dari pada elongasi minimum yang dinyatakan untuk baja tersebut. Penting untuk mencatat bahwa ε_u lebih kecil dari elongasi minimum ε_f dalam Gambar R4.3, yang dinyatakan untuk batang tulangan yang berkaitan dalam ASTM A706/A706M. Kenaikan regangan di antara ε_u dan ε_f disebabkan oleh pengecilan penampang batang tulangan. Perbedaan dalam regangan mengalami kenaikan karena ukuran batang menurun. Absennya data pengujian spesifik untuk perbedaan antara ε_u dan ε_f, nilai tersebut dapat diambil sebesar 0,02 (2%) untuk baja tulangan ASTM A706/A706M Grade 60.

Gambar R4.3 - Hubungan tegangan-regangan cirian untuk tulangan pendisipasi energi

R4.4 *Strand* dan Tendon Prategang

R4.4.1 Penggunaan baja prategang dalam portal pemikul momen khusus dalam daerah berisiko seismik tinggi secara spesifik tidak diijinkan oleh SNI 2847:2013. Penggunaan tendon prategang pratarik sebagai tulangan dalam balok pracetak diperkenankan oleh standar ini karena balok tersebut dibatasi tetap dalam kisaran respons elastis pada gempa desain, kecuali pada hubungan balok–kolom. Penggunaan tendon pascatarik tanpa lekatan yang terdiri atas *strand* prategang dalam balok juga diijinkan oleh standar ini. Penggunaaan batang tulangan ketimbang *strand* pada lokasi aksi nonlinier tidak diperkenankan karena tegangan tambahan yang signifikan pada tahap perpindahan yang tinggi yang diakibatkan oleh sudut patahan *(kinking)* batang tulangan di mana tulangan tersebut memotong hubungan balok–kolom.

R4.4.3 Secara normal, hal tersebut dipandang baik untuk dilakukan selama masa pelaksanaan konstruksi untuk menarik tendon prategang dengan gaya tertinggi tanpa menimbulkan deformasi permanen. Untuk *strand* yang melalui hubungan balok–kolom, tegangan tarik maksimum yang diijinkan akan sering dibatasi dalam desain dan bisa jadi mencapai batas rendah 0,4f_{pu} untuk menjamin bahwa *strand* tidak meleleh dalam kejadian gempa kuat. Namun, pengalaman menunjukkan (*Post-tensioning Institute* 2012) bahwa untuk mencegah *strand* mengalami selip, baik jangka panjang atau selama gempa desain, adalah perlu pada saat awal baji diset dengan gaya yang menciptakan tegangan sekitar 0,8f_{pu} dalam

baja prategang. Persyaratan ini secara otomatis dipenuhi pada saat penarikan awal tendon pascatarik sampai 0,8f_{pu} dan sebelum gaya *jacking* dikurangi sampai tegangan yang diinginkan. Jika tegangan efektif pada baja prategang harus dibatasi sekecilnya 0,4f_{pu}, pengoperasioan blok baji secara terpisah menjadi diperlukan. Perangkat blok hidrolik dapat digunakan untuk memblok satu *strand* pada satu waktu dan mentransfer gaya reaksi *strand* ke angkur daripada ke *strand*.

Namun, karena gaya prategang juga mencegah gelinciran akibat gaya geser vertikal pada hubungan balok–kolom, perhitungan yang akurat dari penurunan prategang menjadi semakin esensial jika digunakan level prategang yang rendah. Estimasi yang cukup akurat dari kehilangan gaya prategang dapat dihitung dengan rekomendasi Zia dkk. (1979).

R5 Persyaratan sistem rangka

Perencanaan rangka dikontrol terutama oleh pertimbangan *drift*, ketimbang kekuatan. Persyaratan kinerja untuk rangka momen, tendon pascatarik, dan tulangan pendisipasi energi untuk rangka momen yang terdiri atas komponen diskrit beton pracetak yang dihubungkan oleh kombinasi pascatarik dan tulangan pendisipasi energi diberikan dalam Pasal 5.1. Persyaratan detail spesifik untuk rangka dengan pascatarik konsentris dan tulangan pendisipasi energi atas dan bawah yang ekivalen diberikan dalam Pasal 6.1 dan 7.1.

R5.1 Umum

Integritas jejak beban hingga mencapai pondasi untuk semua komponen harus diperiksa untuk posisi yang mana struktur berdeformasi pada *drift* sudut terantisipasi maksimum sebesar 0,035. Persyaratan *drift* sudut ini dapat dipenuhi dengan memeriksa integritas dari pada jejak beban ketika setiap tingkat berdeformasi dengan *drift* sudut batas 0,035. *Drift* sudut maksimum sebesar 0,035 adalah sudut dimana rangka hibrid yang memenuhi syarat pengujian SNI 7834:2012. Alasan pemilihan sudut 0,035 dibahas dalam Pasal R.7.4 dari SNI 7834:2012.

R5.3 Drift

Rangka momen juga harus memenuhi pembatasan *drift* sudut total maupun tingkat. Umumnya, *drift* sudut tingkat akan menentukan perencanaan. Baik *drift* sudut maksimum dan *drift* sudut lantai dihasilkan dari gempa desain (GD) dan perpindahan rencana terkait dibatasi harga maksimum 0,024

R5.4 Karakteristik rangka pemikul momen

Karakteristik struktur minimum yang disyaratkan untuk rangka momen, tanpa memperhatikan detail perencanaan, diberikan dalam Pasal 5.4.

R5.4.2 Untuk konstruksi kolom kuat–balok lemah, faktor pelampauan kekuatan λ yang sama dengan rasio kuat lentur nominal kolom yang dirangkai kepada join balok-kolom, $\sum M_c$ terhadap kuat lentur nominal balok yang terangkai kepada join yang sama, $\sum M_g$, seperti yang disyaratkan oleh Pasal 21.6.2.2 dari SNI 2847:2013, harus sama atau melebihi 1,2. Untuk standar ini, nilai $\sum M_c$ dan $\sum M_g$ harus dihitung menurut SNI 2847:2013. Namun demikian, perencana memilih nilai λ secara konsisten dengan performa join yang ditetapkan dalam SNI 7834:2012. Bahwa nilai tersebut tidak boleh kurang dari 1,2 peningkatan oleh faktor yang memperhitungkan diferensi dalam gaya-gaya aksial kolom, tulangan pelat, dan kekuatan tulangan dan beton, diantisipasi untuk bangunan prototip dan yang tidak muncul dalam modul yang mana pengujiannya dilaporkan oleh Priestley dkk.(1999) dan Day (1999).

R5.4.3 Kolom bisa dalam bentuk pracetak atau dicor di tempat, asalkan dibuat menerus melalui join balok–kolom.

R5.4.4 Penting kiranya bahwa tendon pascatarik yang dibuat menerus melalui join balok–kolom interior rangka momen memenuhi dua persyaratan dalam Pasal 5.4.4. Tidak boleh terjadi selip balok pracetak relatif terhadap kolom, baik untuk gaya gravitasional atau untuk gaya-gaya maksimum dalam kejadian gempa. Untuk memastikan kondisi sebelumnya dan untuk rangka tidak mengalami perpindahan permanen akibat kejadian gempa desain (GD), tendon pascatarik yang melalui hubungan balok–kolom harus tetap elastis selama kejadian tersebut. Lebih jauh, gaya prategang efektif dalam tendon pascatarik harus dicukupkan untuk menimbulkan leleh tekan pada tulangan khusus atas dan bawah. Hanya dalam kondisi demikian celah antara balok dan kolom yang terjadi dalam kejadian, menutup pada saat osilasi berhenti, karena tulangan pendisipasi energi menimbulkan elongasi permanen karena batang-batang tulangan meleleh dalam kondisi tarik. Selanjutnya, untuk gempa kredibel maksimum (MCE), sudut *drift* total dan sudut *drift* lantai cerita tidak boleh melebihi *drift* maksimum 0,035 , dimana desain telah divalidasi oleh pengujian sesuai dengan SNI 7834:2012 dan tegangan dalam baja pratekan harus kurang dari kekuatan tarik baja tersebut. Tegangan maksimum yang dapat diterapkan untuk baja prategang biasanya dibatasi oleh kapasitas baji angkur baja tersebut, dan perencana harus memastikan bahwa tegangan pada MCE kurang dari persyaratan spesifikasi tegangan baji.

R5.4.5 Tulangan pendisipasi energi yang memotong bidang hubungan balok–kolom memenuhi dua fungsi. Pertama, tulangan tersebut merupakan sumber primer disipasi energi untuk portal sewaktu kejadian seismik. Untuk fungsi tersebut, tulangan membutuhkan, seperti yang disyaratkan oleh SNI 7834:2012, untuk menyediakan rasio disipasi energi relatif melebihi 1/8. Kedua, tulangan khusus berperan sebagai tulangan integritas tambahan terhadap yang dikerahkan oleh tendon pascatarik. Untuk fungsi tersebut, tulangan khusus diangkurkan ke dalam balok dan kolom, dan direncanakan memikul gaya-gaya gravitasional yang bekerja pada balok pracetak dalam kejadian bahwa tendon pascatarik runtuh sewaktu kejadian gempa atau kejadian lainnya.

R5.5 Distribusi rangka pemikul momen dalam struktur

Kerusakan struktur beton pracetak dalam kejadian beberapa gempa belakangan ini menimbulkan kekuatiran apakah ketentuan-ketentuan dalam SNI 2847:2013 cukup untuk memungkinkan gaya-gaya inersial yang bekerja pada struktur dengan portal pemikul beban gravitasional, disalurkan oleh diafragma kepada elemen-elemen pemikul gaya lateral. Pasal 21.3.5.6 SNI 2847:2013 berisikan ketentuan yang diperuntukkan bagi penyediaan peningkatan performa struktur yang merupakan sistem beton pracetak pemikul beban gravitasi. Ketentuan-ketentuan tersebut harus dipenuhi bagi portal pemikul momen yang sesuai dengan standar ini. Direkomendasikan untuk menggunakan metode kedua perencanaan dari pada sambungan balok-kolom, ketimbang metoda pertama dalam ketentuan-ketentuan tersebut.

R5.6 Interaksi momen rangka–pelat lantai

Perhatian khusus perlu diberikan kepada pendetailan sambungan pelat lantai ke kolom, pada balok pracetak, dan pada balok pemikul beban gravitasional ke kolom yang sama pada interseksi dalam portal pemikul momen. Adanya pelat lantai dan balok pemikul beban gravitasional, tidak boleh merubah bentuk hubungan momen rotasi suatu sambungan pada hubungan yang ditetapkan dalam uji penerimaan karakteristik spesimen interseksi tersebut. Untuk sistem dua pelat, pengujian (Chagnon 1998) di Universitas California di San Diego menunjukkan bahwa kondisi tersebut dapat dipenuhi dengan menempatkan pengisi setebal 25 mm yang mampu mampat sepanjang keseluruhan daerah hubungan kolom–pelat dan menghubungkan pelat ke balok pracetak saja. Sistem pelat satu arah terdiri dari pelat pascatarik *unbonded* dua arah yang dicor di tempat. Sekalipun bukaan yang signifikan terjadi

pada satu ujung dari pada sambungan balok pascatarik–kolom pada *drift* maksimum, regangan tekan pada balok untuk sisi yang berlawanan dengan kolom mereduksi pegerakan dua balok yang saling berhubungan. Retak terbuka dalam pelat pada pusat kolom hanya 25% dari lebar bukaan pada hubungan balok–kolom pada *drift* maksimum, dan menutup pada saat *unloading*.

Sistem pelat kedua terdiri atas pelat berlubang pratarik (*hollow core*) pracetak satu arah tanpa *topping*, keduanya tegak lurus dan paralel terhadap balok portal pemikul momen pascatarik. Gaya-gaya sistem pelat lantai ditransfer kepada rangkaian balok–kolom oleh balok pengikat pada masing-masing ujung yang memiliki batang tulangan yang dipasakkan kepada balok periferal. Pelat tidak disambungkan kepada rangkaian balok–kolom. Sistem tersebut berperilaku baik tanpa modifikasi karakteristik momen–rotasi untuk hubungan dan secara esensil tidak menunjukkan kerusakan pada pelat.

R6 Persyaratan untuk balok–balok rangka pemikul momen

Dalam Pasal 6 dan 7, persyaratan diberikan untuk balok pracetak sambungan balok-kolom portal pemikul momen. Persyaratan tersebut dimaksudkan untuk menyediakan performa untuk portal sesuai dengan Pasal 5.1 hingga Pasal 5.4. Persyaratan tersebut menyebutkan jumlah yang sama untuk tulangan pendisipasi energi atas dan bawah dan secara konsentris menempatkan tendon pascatarik melalui hubungan balok–kolom. Sekarang ini, karakteristik performa telah divalidasi oleh berbagai pengujian (Priestley dkk.1999;Day 1999) hanya untuk hubungan dengan karakteristik tersebut.

Sambungan dengan pascatarik nonkonsentrik, yang kemungkinan akan terjadi jika sebagian beban gravitasional yang bekerja pada balok pracetak diimbangi oleh gaya-gaya tendon paskatarik, atau sambungan dengan tulangan atas dan bawah yang tidak sama yang kemungkinan terjadi pada kasus pascatarik nonkonsentrik, dapat direncanakan untuk mencapai kinerja yang memuaskan. Akan tetapi, dibutuhkan analisis tambahan atau pengujian penerimaan tambahan untuk menetapkan prosedur untuk melengkapi Pasal 6 dan Pasal 7.

R6.1 Prategang

Tendon pascatarik memenuhi tiga fungsi tendon mengarahkan gaya gapitan untuk memikul geser yang ditimbulkan oleh gaya-gaya gravitasional dan gaya-gaya seismik. Tendon juga mengarahkan perlawanan pada hubungan balok–kolom sebagai tambahan terhadap yang dikerahkan oleh tulangan khusus. Akhirnya, dengan menyisakan elastisitas selama kejadian selama gempa desain, tendon dapat menutup bukaan dalam hubungan balok–kolom ketika gerakan berhenti dan karenanya mengembalikan portal kepada keadaan tanpa deformasi. Konsiderasi tersebut terutama berkaitan dengan kekuatan ketimbang kelayanan, sehingga tegangan pada beban layan bukan merupakan kekhawatiran.
Kekuatan tulangan pendisipasi energi yang memotong hubungan, yang berkaitan dengan kekuatan tendon pascatarik yang memotong hubungan yang sama, dipilih untuk memberikan karakteristik respon yang ditentukan pada Pasal 5.4.5. Adalah kurang tepat menerapkan ketentuan tulangan *bonded* minimum dalam Pasal 18.9 SNI 2847:2013 terhadap daerah hubungan balok pracetak. Namun dalam daerah sentral balok pracetak, penerapan syarat tersebut tepat untuk daerah luar di mana tulangan pendisipasi energi diangkurkan. Dimana persyaratan penulangan minimum diterapkan

R6.2 Desain balok

R6.2.1 Dalam daerah ujung balok pracetak, jumlah sengkang yang diperlukan tergantung kepada kontribusi kuat geser beton kepada kuat geser total komponen karena hanya sebagian

tulangan khusus dihilangkan lekatannya dalam daerah tersebut pola terletak yang terjadi berbeda dari pada yang diharapkan untuk komponen beton bertulang dengan baja *bonded*. Sebaliknya, jika penampang diperlakukan sebagai prategang, tidak segera nyata formula mana dari SNI 2847:2013 yang lebih sesuai. Dengan menghubungkan kinerja daerah ujung balok uji sesuai dengan persyaratan SNI 2847:2013, disarankan bahwa pendekatan yang lebih tepat adalah dengan memperlakukan gaya prategang sebagai gaya tekan aksial yang bekerja pada luas permukaan kotor balok pada hubungan.

R6.2.3 Penampang balok pracetak berobah pada lokasi di mana diberikan kesempatan memasang tulangan pendisipasi energi. keruntuhan geser dapat terjadi pada lokasi yang demikian jika retak miring terjadi dan tulangan geser tidak mencukupi.

R6.2.4 Di bawah siklus perpindahan yang besar, ujung siku balok pracetak kemungkinan akan runtuh atau melotok (*spalling)* kecuali bila langkah-langkah pencegahan dilakukan. Tulangan spiral yang mengelilingi selongsong yang berisikan tulangan khusus di dalamnya lebih digemari untuk mencegah berkurangnya kapasitas momen akibat keruntuhan atau lotokan. Sebagai tambahan paling tidak ada 2 (dua) cara pendekatan lain yang bermanfaat dalam meminimalkan pengaruh dari pada keruntuhan siku baja atau tulangan lain seperti misalnya serat karbon (*carbon fiber*) atau selaput aramid (*aramid sheet*) yang dapat digunakan untuk mengungkung sudut tepi balok. Tulangan harus diteruskan dari sudut tepi balok pracetak sampai tulangan khusus di arah tebal balok dan dari sudut tepi paling tidak 2 (dua) kali kedalaman di arah bentang balok. Tulangan harus memiliki tebal dan pengangkuran yang cukup untuk mengerahkan pengekangan (*confinement*) pada level regangan yang diantisipasi dalam kejadian gempa hebat. Secara alternatif sudut tepi balok dapat di-*chamfer* dan penambahan *chamfer* perlu diperhitungkan dalam desain. Geometri tapak graut yang dibuat antara balok dan kolom harus konsisten dengan geometri tulangan atau *chamfer* yang digunakan pada ujung balok.

R7 Persyaratan untuk antar muka balok–kolom rangka pemikul momen

R7.2 Gaya prategang

R7.2.1 Karena keruntuhan geser terjadi melalui graut pada tapak antara balok dan kolom, koefisien friksi diambil sebesar 0,6. Ketika tendon pascatarik tetap elastis di bawah *drift* rencana yang diinginkan, penggunaan Persamaan (7.2.1) memungkinkan dipenuhinya persyaratan kinerja dalam Pasal 4.4.4(a).

R7.2.2 Di bawah aksi seismik, geser yang diinginkan pada antar muka balok–kolom merupakan fungsi dari pada gaya gravitasional pada balok pracetak dan momen-momen seismik yang diinduksikan didalamnya. Sesuai dengan Gambar R21.3.4 SNI 2847:2013, gaya geser desain V_u diberikan oleh

$$V_u = 0{,}75(1{,}2V_D + 1{,}6V_L) + \frac{(M_{pr1} + M_{pr2})}{L_{clear}} \qquad \text{(R7.2.2.a)}$$

dimana M_{pr1} dan M_{pr2} adalah nilai-nilai dari M_{pr} pada ujung berlawanan balok pracetak yang berdeformasi dan L_{clear} adalah jarak antar muka kolom.

Jika koefisien friksi bernilai 1,0, kuat geser nominal sama dengan gaya tekan yang bekerja pada antar muka,

$$\phi V_n = \phi C \qquad \text{(R7.2.2.b)}$$

dimana $C = A_s f_u - A_s \left(1{,}25 f_y\right) + A_{ps} f_{prs}$

R7.3 Graut antarmuka

Kinerja sambungan antara balok dan kolom secara langsung tergantung kepada graut yang digunakan. Antarmuka itu juga hanyalah lokasi di mana toleransi ereksi dapat disediakan. Graut dalam sambungan harus tetap utuh dan tidak runtuh atau melimpah keluar sebelum ujung balok pracetak mulai melotok dalam kejadian ekstrim. Penggunaan perkuatan fiber dalam graut diinginkan untuk memastikan keteguhan yang cukup. Fiber dapat berubah baja atau poliprofilen. Fiber poliprofilen lebih disukai dalam lokasi terbuka karena sambungan dengan baja cenderung berkarat.

Jika sambungan terlampau lebar, graut dapat gagal di bawah kombinasi tegangan geser dan aksial pada level yang lebih kecil dari pada kuat tekan graut. Kuat tekan graut harus bernilai kurang lebih sama dengan kuat tekan balok pracetak. Jika kekuatan graut jauh lebih besar dari kekuatan balok, hal ini dapat menimbulkan kehancuran prematur beton pada ujung balok pada level regangan yang tinggi. Jika graut memiliki kekuatan yang jauh kurang dari pada kekuatan balok, ini akan menimbulkan kehancuran pertama pada level regangan yang tinggi dan menimbulkan kehilangan prategang, yang pada akhirnya sulit dikompensir dalam operasi reparasi sesudahnya.

R7.4 Tulangan pendisipasi energi

R7.4.1 Bila mana tulangan khusus diangkurkan secara seksama pada kolom dan balok pracetak, dan lebar antar muka sambungan relatif kecil, tegangan leleh geser bernilai sekitar separuh dari tegangan leleh tarik. Persyaratan performa dalam Pasal 5.4.5 (b) dapat dicapai dengan memenuhi persyaratan Persamaan (R7.4.1).

$$\frac{A_s f_y + A_s' f_y}{2} = A_s f_y = \frac{V_D + V_L}{\phi} \qquad \text{(R7.4.1)}$$

dimana ϕ = 0,85 sesuai dengan Pasal 9.3.4(c) SNI 2847:2013.

R7.4.2 Seperti ditunjukkan oleh Cheok dkk, (1996) dan Stanton and Mole (1994), jika fraksi dari kuat lentur bidang muka M_{pr} yang disumbangkan oleh tulangan pendisipasi energi bernilai sekitar 0,5, akan ada disipasi energi ekivalen paling tidak 15% dalam siklus berulang ke tiga dalam rasio simpangan sebesar 0,035, dan persyaratan performa SNI 7834:2012 akan dipenuhi.

R7.6 Kuat lentur yang mungkin

Gambar R7.6 menunjukkan kondisi pada antarmuka balok–kolom untuk rotasi lentur negatif ketika tulangan khusus diberi tegangan tarik f_u. Lebar dari pada bukaan sambungan pada level tulangan khusus diberikan oleh Persamaan (R7.6a). Panjang *debonded* efektif sebesar $5{,}5d_d$ sebagai tambahan terhadap panjang debonded L_u, didasarkan pada analisis lebar retak yang diukur dalam reportase pengujian dalam Cheok dkk. (1996). Panjang *debonded* efektif tambahan ditemukan dalam pengujian (Stanton dkk 2000) dimana kondisi pengangkuran berbeda dengan yang ada dalam Cheok dkk. (1996). Karena kuat tekan graut harus sama atau melebihi kekuatan tekan balok, ketebalan graut tidak harus dimasukkan dalam panjang *debonded*.

Jika bidang muka berotasi terhadap sumbu netral, yang terdapat pada lokasi sejarak *c* dari muka tekan bantalan graut, bukaan sambungan pada level *strand* pascatarik adalah Δ_{prs}, yang diberikan oleh Persamaan (R7.6a).

$$\Delta_{prs} = \frac{\Delta_s\ [(h/2) - c]}{(d - c)} \quad \text{(R7.6a)}$$

Jika L_{ups} adalah panjang dimana tendon pascatarik dihilangkan lekatannya, regangan pada *strand* berkaitan dengan kapasitas lentur yang mungkin dapat dihitung dengan Persamaan (R7.6b).

$$\varepsilon_{prs} = \frac{\Delta_{prs}}{L_{ups}} + \varepsilon_{se} \quad \text{(R7.6b)}$$

dimana ε_{se} adalah praregangan efektif. Karena tendon dihilangkan lekatannya antara angkur ke angkur, L_{ups} sama dengan jarak angkur ke angkur, dan Δ_{prs} merupakan jumlah bukaan sambungan pada level tendon.

Kekuatan lentur yang mungkin M_{pr} merupakan jumlah kontribusi dari tulangan khusus M_s dan tulangan pascatarik M_{prs}. Momen-momen tersebut diberikan oleh Persamaan (R7.6c).

$$M_s = A_s f_u \left(\mathrm{d} - \frac{\beta_1 c}{2}\right) - A_s' 1{,}25 f_y \left(d' - \frac{\beta_1 c}{2}\right) \quad \text{(R7.6c)}$$

jika tegangan tekan tulangan khusus diambil sebesar $1{,}25f_y$, dan nilai M_{prs} sesuai dengan Persamaan (R7.6d).

$$M_{prs} = A_{ps} f_{prs} \left(\frac{h - \beta_1 c}{2}\right) \quad \text{(R7.6d)}$$

dimana nilai M_{pr} ditentukan oleh Persamaan (R7.6e).

$$M_{pr} = M_s + M_{prs} \quad \text{(R7.6e)}$$

dan $\beta_1 c$ ditentukan dengan Persamaan (R7.6f).

$$\beta_1 c = \frac{A_{ps} f_{prs} + A_s f_u - A_s' 1{,}25 f_y}{b\left(0{,}85 f_c'\right)} \quad \text{(R7.6f)}$$

dimana f_{prs} adalah tegangan yang berkaitan dengan ε_{prs}.

Untuk gempa desain (GD) dengan probabilitas 10% dalam waktu ulang 50 tahun konsep *drift* sudut rencana harus konsisten dengan konsep perpindahan rencana yang dicantumkan dalam Pasal 2.2 SNI 2847:2013. Sebagai mana dibahas dalam SNI 7834:2012, d*rift* sudut target akan jauh lebih kecil dari pada kapasitas *drift* sudut 0,03. Target *drift* sudut rencana mendekati 0,02 adalah sesuai dengan gempa desain (GD) yang mempunyai probabilitas 10% dalam waktu ulang 50 tahun, dan nilainya tidak melampaui 0,024. Untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCE) *drift* sudut tidak melebihi nilai 0,035 sebagai batas kualifikasi rangka.

Persamaan (R7.6a) sampai dengan Persamaan (R7.6f) memungkinkan perhitungan M_{pr} untuk antarmuka balok–kolom dengan geometri yang diberikan. Namun, nilai aktual M_{pr} yang mungkin dicapai dan, oleh karena itu, *drift* yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh pendetailan beton di zona kompresi pada antarmuka balok–kolom. Penutup atas pengekangan keliling untuk tulangan pendisipasi energi cenderung mengalami *spall* pada atau segera setelah baja

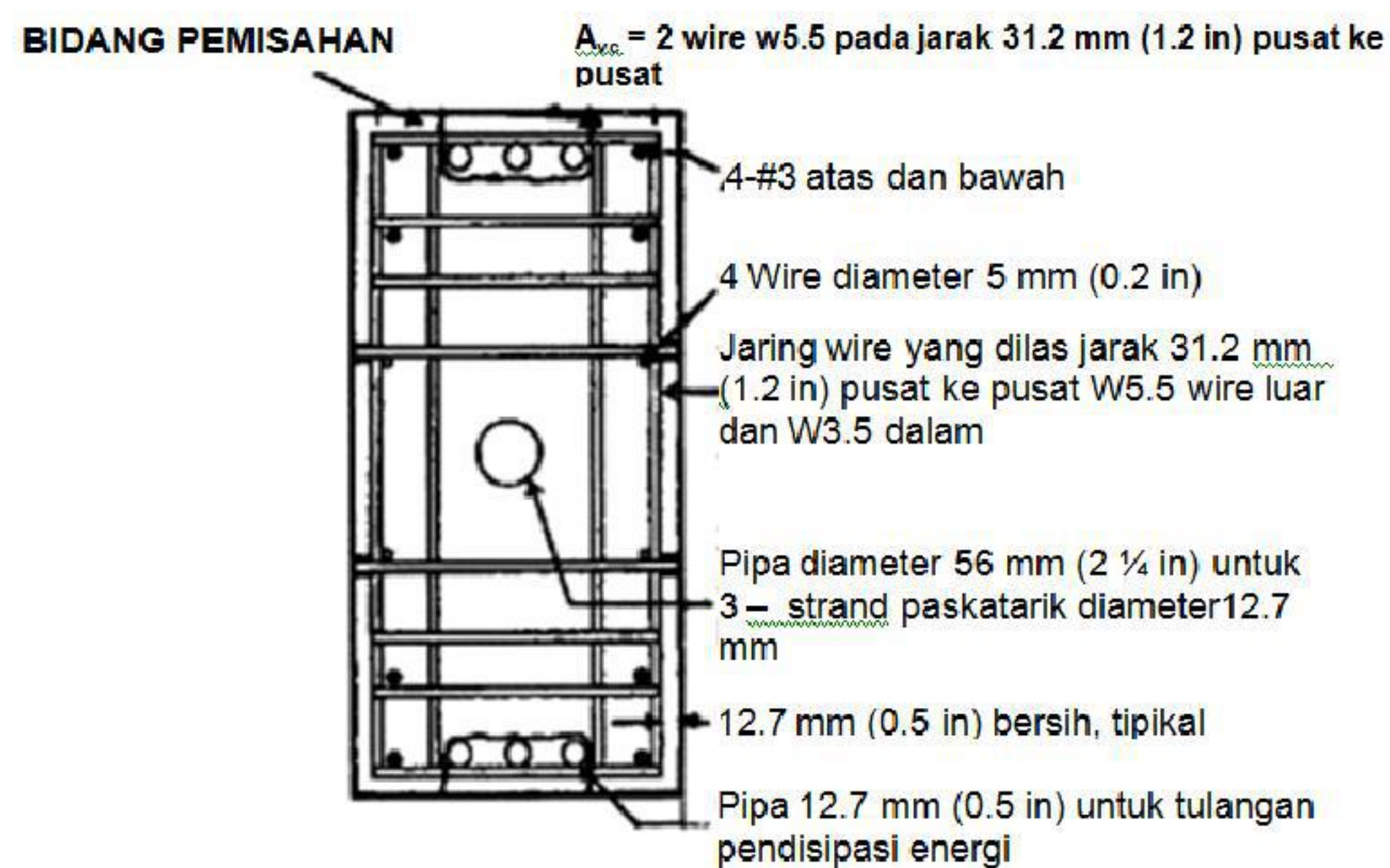
prategang leleh atau *drift* sudut 0,02 dicapai. Nilai untuk *d* dan *h* dalam Persamaan (R7.6a) sampai (R7.6f) harus disesuaikan untuk perhitungan M_{pr}.

R7.6.3 Diinginkan agar perencana memeriksa variasi respon terhitung dengan variasi dalam nilai untuk L_u dan α_b sebelum mengambil keputusan pada detail desain di daerah *debonded* tulangan pendisipasi energi. Untuk α_b yang bervariasi antara 2,0 dan 5,5, nilai M_{pr} meningkat perlahan sementara nilai simpangan meningkat lebih cepat.

R7.7 Pengangkuran tulangan pendisipasi energi

R7.7.2 Batang-batang yang diangkurkan dalam beton yang dikekang dengan selongsong logam, seperti misalnya selongsong baja ringan yang diikat spiral dalam konstruksi pascatarik yang digraut, membutuhkan panjang penyaluran yang lebih kecil dibandingkan dengan batang-batang yang diangkurkan dalam beton monolit (Stanton dkk 2000; PCI 2004). Untuk baja Grade 60 (420 MPa) dan beton f_c' = 35 MPa, Pasal 21.7.5 SNI 2847:2013 menyaratkan panjang penyaluran $32,6d_b$ untuk batang lurus. Karena kehadiran selongsong logam dan jumlah tulangan transversal yang besar yang disyaratkan Pasal 7.7.3, dapat digunakan panjang penyaluran yang lebih pendek untuk tulangan pendisipasi energi yang disyaratkan dalam Pasal 21.7.5 SNI 2847:2013. Analisis dari pada hasil-hasil yang tersedia menunjukkan bahwa panjang $25d_b$ mencukupi (Day 1999; Stanton and Mole 1994; PCI 2004; Seible and Priestley 1994; Gamble et al. 1995; Cheok and Stone 1994) jika tidak digunakan serat dalam graut, dan bahkan panjang yang lebih kecil akan mencukupi jika serat digunakan dalam graut. Dalam kolom luar suatu portal tertentu, tebal kolom h_p harus diambil cukup besar untuk mengangkurkan tulangan khusus. Untuk kolom dalam pada portal multi bentang, tulangan khusus harus dilewatkan melalui kolom dan diangkurkan baik dalam balok pracetak maupun dalam kolom. Dalam kejadian gempa besar, tulangan khusus yang dilewatkan melalui kolom interior akan menerima gaya tekan pada satu muka kolom dan tarik pada muka lainnya. Tebal kolom minimum harus melampaui panjang penyaluran minimum batang tulangan.

R7.7.3 Persyaratan kekangan ini telah diturunkan dari hasil pengujian sambungan lewatan yang digunakan pada dasar kolom jembatan (Seible and Priestley 1994; Gamble et al. 1995). Untuk beban siklus yang berbalikan secara penuh, pengujian tersebut menunjukkan bahwa dengan kungkungan yang cukup, tegangan dalam lewatan dengan panjang penyaluran $25d_b$ dapat mencapai kuat tarik batang tulangan. Kondisi yang demikian dicapai sekalipun batang-batang tulangan longitudinal kolom disambung-lewatkan pada dasar dengan jumlah batang yang sama dengan yang muncul dari fondasi. Tulangan kungkungan harus cukup diambil untuk mencegah gelinciran pada bidang retakan yang memisahkan kolom dan batang-batang pasak. Situasi pada ujung balok pracetak serupa dengan situasi pada dasar kolom jembatan. Tulangan khusus perlu diangkurkan dalam balok pracetak. Tulangan transversal perlu cukup untuk melewatkan tulangan khusus kepada tulangan longitudinal balok pracetak. Gambar R7.7.3 menunjukkan bidang retak potensil yang paling buruk untuk suatu balok pracetak yang memiliki penampang yang sama dengan pe
R7.7.3 nampang balok pracetak dalam oleh Cheok dan Stone (1994). Pada balok tersebut, tulangan pendisipasi energi ditempatkan pada *trough* dan disambung-lewatkan pada tulangan longitudinal balok, yaitu empat tulangan no.3. Dalam Gambar R7.7.3 ditunjukkan nilai A_{vc} untuk bidang dan detail tulangan geser yang paling buruk yang digunakan dalam pengujian yang dilaporkan dalam dalam oleh Cheok dan Stone (1994). Lokasi bidang terburuk berubah sesuai dengan dimensi balok dan detail tulangan geser. Bidang retakan yang ditunjukkan dalam Gambar R7.7.3 merupakan bidang terburuk karena panjangnya lebih kecil, dan tulangan yang memotong bidang tersebut lebih sedikit dari pada bidang lainnya yang memisahkan tulangan khusus dengan tulangan longitudinal balok. Tulangan geser yang digunakan dalam dalam oleh Cheok dan Stone (1994) merupakan produk paten tertentu, dan untuk jejaring penulangan *wire* yang dilas, yang demikian nilai A_{vc} akan lebih besar dari pada yang ditunjukkan oleh Gambar R7.7.3 akibat dari W3.5 dalam kawat vertikal. Namun demikian, penggunaan produk

paten tertentu tidak diperlukan, dan dengan penggunaan tulangan geser konvensional, hanya diandalkan kontribusi dari dua W5.5 untuk mengerahkan A_{vc}.

Gambar R7.7.3 - Bidang pemisahan potensial pada balok dari Cheok dan Stone (1994)

R8 Join rangka

R8.1 Umum

Gaya geser terfaktor yang bekerja pada join rangka harus lebih kecil dari pada kuat geser rencana yang ditetapkan dari Pasal 21.7.4.1 SNI 2847:2013. Terlebih lagi, karena tujuannya adalah untuk membatasi kerusakan akibat kejadian gempa besar dalam material pengisi sambungan, harus digunakan prosedur konservatif dalam menghitung kuat geser sambungan. Luas efektif sambungan, direduksi akibat kehadiran selongsong pascatarik. Untuk sambungan kolom eksterior, akan ada efek perubahan akibat pengangkuran tendon pascatarik pada muka kolom yang jauh dari pada balok. Pengangkuran tersebut menimbulkan reaksi tarik–tekan (*compression strut*) yang terbentuk dalam sambungan balok–kolom di bawah pengaruh beban lateral. Timbulnya reaksi tersebut mereduksi proyeksi vertikal *strut* yang jauh lebih kecil dari kedalaman total sambungan balok–kolom. Namun, untuk sambungan kolom interior, tidak terjadi efek *offsetting* yang demikian, dan reduksi luas efektif sambungan A_j, akibat adanya selongsong pascatarik dan selonsong tulangan khusus, adalah cukup signifikan.

R9 Referensi

ACI Innovation Task Group 1, "*Acceptance Criteria for Moments Frames Based on Structural Testing* (ACI T1.1-01) *and Commentary* (ACI T1.1-02)", American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2001, hal 11.

ACI Innovation Task Group 1 and Collaborators, 2003, *"Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precasalt and Post-Tensioned Concrete Members* (T1.2-03)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, hal 15.

Chagnon, M., "*Precast Seismic Resisting Frames Using Unbonded Prestressing Tendons*", *Reports to the Precast/Prestressed Concrete Institute on Research in Progress at the* University of California, San Diego, private communication, 1998.

Cheok, G.S., dan Stone, W.C., "*Performance of 1/3-Scale Model Precast Concrete Beam-Column Connections Subjected to Cyclic Inelastic Loads*", Report No.4, NISTIR 5436, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 1994, hal 59.

Cheok, G.S., Stone, W.C., dan Nakaki, S.D.,"*Simplified Design Procedure for Hybrid Precast Concrete Connections*", NISTIL 5765, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 1996, hal 81.

Day, S., "*Cyclic Load Testing of Precast Hybrid Moment Frame Connections*", MSCE thesis, Department of Civil Engineering, University of Washington, Seattle, Washington, 1999.

Federal Emergency Management Agency, NEHRP "*Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures*", Part 1-Provisions, FEMA 302, dan Part 2-Commentary, FEMA 303, edisi 1997, Washington, D.C., 1998.

Gamble, W.L.,Hawkins, N.M., dan Kaspar, I.I., *"Seismic Retrofitting of Bridge Pier Columns"*, Proceedings of the National Seismic Conference on Bridges and Highways, San Diego, California, 1995.

Hawileh, R.; Tabatabai, H.; Rahman, A.; and Amro, A., 2006, "*Non-Dimensional Design Procedures for Precast, Prestressed Concrete Hybrid Frames*," PCI Journal, V. 51, No. 5, Sept.-Oct.,hal 110-130

Hawkins, N.M, dan Ishizuka, T., "*Concrete Ductile Moment Resistant Frames*", Proceedings of the Ninth World Conference on Earthquake Engineering, *Vol. VIII,* International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 1988, hal. 659-664.

Nakaki, S., Stantone J.F., dan Sritharan, S., "*An Overview of the PRESSS Five-Story Precast Concrete Test Building*", *PCI Journal, Vol. 44, No. 2,* 1999, hal. 26-39

Palmieri, I., Sagan, E., French, C., dan Kreger, M.E., "*Ductile Connections for Precast Frame Systems*", Mete A. Sozen Symposium, SP-162, J.K. Wight dan M.E. Kreger, editor, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996, hal. 313-355.

Post-Tensioning Institute (PTI), 2012, "*Recommendations for Stay-Cable Design, Testing and Installation*," sixth edition, Farmington Hills, MI.

Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI), 2004, "*Anchorage in Grauted Conduit*," PCI Handbook, sixth edition, Chicago, IL, Bab 6, hal 8.

Priestley, M.J.N., "*The PRESSS Program's Current Status and Proposed Plans for Phase III*, ", *PCI Journal, Vol. 41, No. 2,* 1996, hal. 22-40.

Priestley, M.J.N. dan MacRae, G.A., "*Precast Seismic Resisting Frames Using Unbonded Prestressing Tendons*", Report of 4th U.S. PRESSS Coordinating Meeting, San Rafael, California, 1994, hal. 108-116.

Priestley, M.J.N., Sritharan, S., Conley, J.R., dan Pampanin, S., "*Preliminary Results and Conclusions from the PRESSS Five-Story Precast Concrete Test Building*", PCI Journal, Vol. 44, No. 6, 1999, hal. 42-67.

Seible, F., dan Priestley, M.J.N., "*Strengthening of Rectangular Bridge Columns for Increased Ductility*", Proceedings of Thild Annual Seismic Research Workshop, California Department of Transportations (CALTRANS), Sacramento, California, 1994.

Stanton, J.F., dan Mole, A., "*A Hybrid Precast Prestressed Concrete Frame System*", Fourth Meeting of U.S.-Japan Joint Technical Coordinating Committee on PRESSS, Tsukuba, Japan, 1994.

Stanton, J. F., and Nakaki, S. D., 2002, "*Design Guidelines for Precast Concrete Seismic Structural Systems*," PRESSS Report No. 01/03-09, *UW Report* No. SM 02-02, Department of Civil Engineering, University of Washington, Seattle, WA, Feb

Stanton, J.F., Raynor, D., dan Lehman, D.E., "*Bond of Reinforcing Bars Grauted in Ducts*", Report to Charles Pankow Builders Ltd., Altadena, California, Department of Civil Engineering, University of Washington, Seattle, Washington, 2000.

Stone, W.C, Cheok, G.S. dan Stantone, J.F., "*Performance of Hybrid Moment-Resisting Precast Beam-Column Concrete Connections Subjected to Cyclic Loading*", ACI Structural Journal, Vol. 92,No. 2, Mar. - Apr. 1995, hal. 229-249.

Zia, P.; Kent, P. H.; Scott, N. L.; and Workman, E. B., 1979, "*Estimating Prestress Losses*," Concrete International, V. 1, No. 6, June, pp. 32-38.

Informasi pendukung terkait perumus standar

[1] Komtek/SubKomtek perumus SNI

Sub Komite Teknis 91-01-S4, *Subkomite Teknis Bahan, Sain, Struktur dan Konstruksi Bangunan*

[2] Susunan keanggotaan Komtek perumus SNI

Ketua : Prof. Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES
Sekretaris : Dany Cahyadi, ST, MT
Anggota :
1. Ir. Lutfi Faizal
2. Ir. RG Eko Djuli Sasongko, MM
3. Prof. Dr. Ir. Suprapto, M.Sc, FPE, IPM
4. Dr.Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M.Eng
5. Ir. Asriwiyanti Desiani, MT
6. Ir. Felisia Simarmata
7. Ir. Suradjin Sutjipto, MS
8. Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman
9. Prof. Bambang Suryoatmono

CATATAN:
Susunan keanggotaan Sub Komtek 91-01-S4 diatas adalah pada saat Standar ini ditetapkan. Anggota Komtek yang juga turut menyusun sebelum perubahan keanggotaan pada bulan Oktober 2015, adalah:
1. DR. Ir. Anita Firmanti, MT (Ketua)
2. Cecep Bakheri (Sekretaris)
3. Prof. Ir. Adang Surahman, M.Sc, Ph.D

[3] Konseptor rancangan SNI

Nama	Lembaga
Prof. Ir. Binsar Hariandja, M.Eng, Ph.D	Institut Teknologi Bandung (ITB)
Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman, MT	Ikatan Ahli Pracetak Prategang Indonesia (IAPPI)
Riyanto Rivky, ST	Ikatan Ahli Pracetak Prategang Indonesia (IAPPI)
Yesualdus Put,ST	Ikatan Ahli Pracetak Prategang Indonesia (IAPPI)

[4] Sekretariat pengelola Komtek perumus SNI

Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.